

Juiz de Fora, MG / Julho, 2024



Controle de plantas daninhas utilizando compostos naturais

Alexandre Magno Brighenti e Alexander Machado Auad

Pesquisadores, Embrapa Gado de Leite, Juiz de Fora, MG.

Resumo – Apesar de todo esforço da pesquisa em expandir as opções de controle de plantas daninhas utilizando substâncias naturais, ainda não há uma tecnologia eficiente de manejo frente ao uso do controle químico. Desse modo, a descoberta de bio-herbicidas eficientes e produzidos a baixo custo se torna desejável quando se almeja aumentar a produtividade de alimentos com sustentabilidade dos agroecossistemas. Dois experimentos foram conduzidos com o objetivo de avaliar os efeitos de diferentes compostos de origem vegetal, aplicados em pós-emergência, no controle de plantas daninhas. Os tratamentos foram álcool (50% v/v) + água (50% v/v), carvacrol (2,5% v/v), eugenol (2,5% v/v), timol (2,5% v/v), trans-anetol (2,5% v/v), cinamaldeído (2,5% v/v) e a testemunha sem aplicação. Para cada tratamento com os compostos naturais, os veículos para composição da calda de pulverização foram água (48,75% v/v) + álcool (48,75% v/v). Compostos de origem vegetal são alternativas potenciais para o controle de plantas daninhas. Os compostos estudados proporcionaram controle das espécies daninhas seguindo a ordem decrescente de eficácia: carvacrol > timol > eugenol > trans-anetol = cinamaldeído. As plantas daninhas *Commelina benghalensis*, *Eleusine indica*, *Amaranthus* spp., *Megathyrus maximus* e *Alternanthera tenella* foram eficientemente controladas pelo carvacrol. As espécies daninhas *Amaranthus* spp., *Megathyrus maximus* e *Alternanthera tenella* foram eficientemente controladas pelo timol. O eugenol proporcionou controle mediano de *Amaranthus* spp. e *Alternanthera tenella*. *Cyperus* spp. não foi controlada por nenhum dos compostos. O trans-anetol e o cinamaldeído não controlaram satisfatoriamente nenhuma das espécies daninhas avaliadas.

Termos para indexação: agricultura familiar, agricultura orgânica, alelopatia, bio-herbicidas, metabólitos secundários.

Weed control using natural compounds

Abstract – Despite all research efforts to expand weed control by using natural compounds, there is still no efficient technology of weed management when compared to chemical control. Therefore, the discovery of efficient bio-herbicides, produced at low cost, becomes desirable to increase food production with sustainability of the agroecosystem. Two experiments were carried out with the objective of evaluating the weed control in post-emergence application of different compounds originated from plants. The

Embrapa Gado de Leite

Rua Eugênio do Nascimento, 610
- Bairro Dom Bosco
36038-330 Juiz de Fora, MG
<https://www.embrapa.br/gado-de-leite>
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

Comitê Local de Publicações

Presidente
Jorge Fernando Pereira
Secretário-executivo
Carlos Renato Tavares de Castro
Membros
Cláudio Antônio Versiani Paiva,
Deise Ferreira Xavier, Edna
Froeder Arcuri, Fausto de Souza
Sobrinho, Fernando César
Ferraz Lopes, Francisco José
da Silva Ledo, Frank Ângelo
Tomita Bruneli, Heloísa Carneiro,
Jackson Silva e Oliveira, Juarez
Campolina Machado, Leovegildo
Lopes de Matos, Luiz Ricardo
da Costa, Márcia Cristina de
Azevedo Prata, Marta Fonseca
Martins, Pêrsio Sandir D'Oliveira,
Rui da Silva Vermeque, Virginia
de Souza Columbiano, William
Fernandes Bernardo

Edição executiva
Alexandre Magno Brighenti

Revisão de texto
Carlos Renato Tavares de Castro
Normalização bibliográfica
Rosângela Lacerda Castro (CRB-
6/2749)

Projeto gráfico
Leandro Sousa Fazio

Diagramação
Luiz Ricardo da Costa

Publicação digital: PDF

Todos os direitos
reservados à Embrapa.

treatments were alcohol (50% v/v) + water (50% v/v), carvacrol (2.5% v/v), eugenol (2.5% v/v), thymol (2.5% v/v), trans-anethole (2.5% v/v) and cinnamaldehyde (2.5% v/v) and the check without application. The vehicles for the spray solution with all natural compounds were water (48.75% v/v) and alcohol (48.75% v/v). Compounds originated from plants can be effective alternatives for weed control. Natural compounds provided weed control in decreasing order of effectiveness: carvacrol > thymol > eugenol > trans-anethole = cinnamaldehyde. The weed species *Commelina benghalensis*, *Eleusine indica*, *Amaranthus* spp., *Megathyrus maximus* and *Alternanthera tenella* were efficiently controlled by carvacrol. *Amaranthus* spp., *Megathyrus maximus* and *Alternanthera tenella* were efficiently controlled by thymol. Eugenol provided median control of *Amaranthus* spp. and *Alternanthera tenella*. *Cyperus* spp. was not controlled by any compounds. Trans-anethole and cinnamaldehyde did not achieve satisfactory control of any weed species.

Index terms: family farming, organic farming, allelopathy, bioherbicides, secondary metabolites.

Introdução

Alimentar a população mundial de forma sustentável é um dos principais desafios para a agricultura do século XXI (Voss; Bellù, 2019).

Uma das medidas para garantir maiores ganhos em produtividade das lavouras está no controle eficiente de pragas e, atualmente, o método mais utilizado é o químico (Oerke, 2006). Aproximadamente, 2,5 milhões de toneladas de produtos fitossanitários são utilizados no mundo anualmente (Spadotto; Gomes, 2021). E, somente no Brasil, a quantidade comercializada aumentou quase três vezes mais em relação à área cultivada entre os anos 2010 a 2020 (Hess; Nodari, 2022).

Considerando o controle de plantas daninhas nos diferentes cultivos, o desenvolvimento dos herbicidas no final da Segunda Guerra Mundial fez com que o método químico também se tornasse o mais utilizado, em função dos produtos empregados serem eficientes e econômicos (Heap, 2014).

Entretanto, o uso excessivo de herbicidas pode causar poluição ambiental, toxicidade para organismos não-alvos e, até mesmo, favorecer o desenvolvimento de biótipos de plantas daninhas resistentes (Abbas et al., 2018).

Nesse contexto, a sociedade, de modo geral, tem se conscientizado para preservação do meio ambiente, exigindo padrões de qualidade dos

produtos consumidos e do ambiente como um todo (Garcia, 2003; Muñoz et al., 2020).

Consequentemente, práticas de manejo integrado de plantas daninhas tais como: o controle cultural, o mecânico, o físico, o biológico e os biotecnológicos têm sido associados ao controle químico no sentido de minimizar ou, até mesmo, eliminar o uso excessivo de herbicidas (Knezevic et al., 2017).

Outras ferramentas que poderiam auxiliar no manejo integrado de plantas daninhas seriam substâncias naturais capazes de atuar como bio-herbicidas. A obtenção de produtos naturais eficazes no controle de plantas daninhas é uma alternativa viável para atenuar os problemas relacionados ao uso dos herbicidas sintéticos nas lavouras (Ootani et al., 2013). Esses bio-herbicidas são menos persistentes e ecologicamente mais seguros (De Mastro et al., 2006), tendo diferentes modos de ação que auxiliam, até mesmo, na prevenção ao desenvolvimento de espécies daninhas resistentes aos herbicidas (Seiber et al., 2014). Entretanto, as dosagens altas e o custo elevado são algumas das desvantagens da aplicação prática dos bio-herbicidas na agricultura atual (Muñoz et al., 2020).

Alguns exemplos desses compostos de origem vegetal podem ser encontrados em plantas de diversas famílias. O óleo de tomilho (*Thymus vulgaris*), por exemplo, possui o timol (40,04%) e o carvacrol (2,45%) (Park et al., 2017). Este último também pode ser encontrado em outras espécies da família Lamiaceae como, por exemplo, o orégano (*Origanum* spp.) (Amri et al., 2013). Por outro lado, o óleo de cravo-da-Índia (*Syzygium aromaticum*) contém eugenol (91,3%), como componente majoritário (Métomè et al., 2017) e no óleo de canela (*Cinnamomum zeylanicum*) está presente o cinamaldeído (90,17%) (Chericoni et al., 2005; Gruenwald et al., 2010). Outro óleo importante é o trans-anetol, contido no óleo de anis-estrelado (*Illicium verum*) (Voris et al., 2018).

Esses compostos vegetais mencionados foram bastante estudados quanto a sua atividade inseticida sobre diversas espécies de pragas (Bakkali et al., 2008; Senthil-Nathan, 2015). Entretanto, há poucas informações sobre a atividade deles como bio-herbicidas (Costa et al., 2018).

Desse modo, a descoberta por alternativas ao controle químico que sejam eficazes no manejo de espécies infestantes de culturas seria vantajosa para agricultores tradicionais e, principalmente, para aqueles que optam pelos sistemas orgânicos.

O objetivo desse trabalho foi avaliar os efeitos de diferentes compostos de origem vegetal, aplicados em pós-emergência, no controle de plantas daninhas.

As informações contidas nesse documento contribuem para o alcance dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) de número 3 (Saúde de qualidade: assegurar uma vida saudável e promover o bem-estar para todos em todas as idades).

Material e métodos

Dois experimentos foram implantados no campo experimental da Embrapa Gado de Leite, município

de Coronel Pacheco, MG, (21°33'10.77" latitude Sul e 43°15'56.30" longitude Oeste). O clima da região é do tipo Cwa (mesotérmico) (Koppen, 1948), definido como sub-tropical, chuvoso no verão e seco no inverno (Alvares et al., 2013). A pluviosidade média anual é de aproximadamente 1.500 mm e a temperatura média de 19,5 °C, entre junho e agosto (inverno), e 22 °C, de dezembro a março (verão).

As médias mensais de temperatura do ar (média das máximas e das mínimas), bem como a pluviosidade durante a condução dos experimentos estão contidas na Tabela 1.

Tabela 1. Temperaturas médias (T) das máximas e das mínimas e pluviosidade durante a condução dos experimentos. Coronel Pacheco, MG. 2022/2023⁽¹⁾.

Experimentos	Experimento 1		Experimento 2
Mês/ano	Novembro/2022	Dezembro/2022	Novembro/2023
T(°C) máxima	24,9	28,2	28,5
T(°C) mínima	23,7	26,4	27,0
Pluviosidade (mm)	197,6	377,4	73,2

⁽¹⁾ Dados obtidos na estação experimental automática do campo experimental da Embrapa Gado de Leite, município de Coronel Pacheco, MG - 2022/2023, disponibilizados pelo Instituto Nacional de Meteorologia - INMET.

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado, com três repetições. Os tratamentos foram: álcool (50% v/v) + água (50% v/v); carvacrol (2,5% v/v); eugenol (2,5% v/v); timol (2,5% v/v); trans-anetol (2,5% v/v); cinamaldeído (2,5% v/v) e a testemunha sem aplicação. Para cada tratamento com os compostos naturais, o veículo para composição da calda foi água (48,75% v/v) + álcool (48,75% v/v). Os compostos naturais foram adquiridos na sua forma química padrão e as concentrações utilizadas nos experimentos foram baseadas em estudos anteriores de Dias et al. (2019) e Nascimento et al. (2022).

Com o propósito de obter o maior número possível de sementes de plantas daninhas, camadas superficiais de solo (0,0–5,0 cm de profundidade) foram coletadas em áreas de cultivo de milho do campo experimental da Embrapa Gado de Leite, e colocadas em bandejas com dimensões de 0,60 m de comprimento, 0,37 m de largura e 0,14 m de profundidade. Em seguida, irrigou-se o solo contido nas bandejas com lâmina de água de aproximadamente 10 mm.

As aplicações dos tratamentos, em ambos os experimentos, ocorreram 1 semana após

a colocação do solo no interior das bandejas (21/11/2022 - experimento 1) e 8/11/2023 - experimento 2). Nesse momento, as plantas daninhas de folhas largas apresentavam-se com 1–2 folhas e as espécies de folhas estreitas com o lançamento do primeiro perfilho.

Os tratamentos foram aplicados utilizando um pulverizador experimental, sendo mantida a pressão constante por CO₂ comprimido de 2,0 kgf cm⁻², e calibrado para um volume de pulverização equivalente a 150 L ha⁻¹. A barra de aplicação era de 0,50 m de largura útil, com dois bicos leque 110.02 BD.

No experimento 1, avaliou-se, visualmente, a percentagem de controle total das plantas daninhas no 1º e 3º dias após a aplicação dos tratamentos (DAA), utilizando a escala percentual de 0% a 100%, onde 0%, representou ausência de controle e 100% a morte das plantas (Velini, 1995). Também foi avaliado o número total de plantas daninhas por bandeja, aos 15 DAA.

No experimento 2, foi usado o mesmo procedimento para obtenção da percentagem visual de controle, nas mesmas datas mencionadas para

o experimento 1, acrescentando-se mais uma avaliação, aos 15 DAA.

Para cada espécie daninha predominante no experimento 1, como a trapoeraba (*Commelina benghalensis*), o capim-pé-de-galinha (*Eleusine indica*), o caruru (*Amaranthus* spp.) e a tiririca (*Cyperus* spp.), foram obtidos os percentuais individuais de controle, aos 15 DAA. Para o experimento 2, essas mesmas avaliações de controle por espécie infestante também foram realizadas aos 15 DAA, sendo a trapoeraba (*Commelina benghalensis*), o capim-colonião (*Megathyrus maximus*), o caruru (*Amaranthus* spp.) e o apaga-fogo (*Alternanthera tenella*) as espécies infestantes de maior incidência.

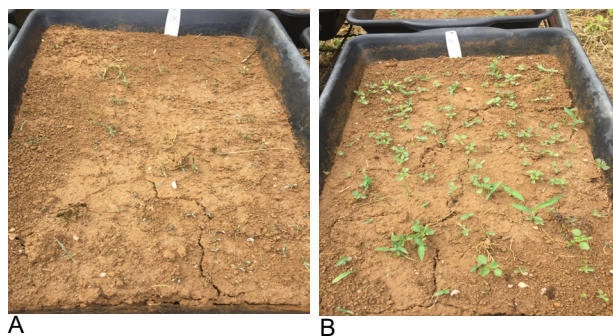
Para ambos os experimentos, as plantas daninhas contidas em cada bandeja foram cortadas rente à superfície do solo, a fim de determinar a massa de matéria verde (g por bandeja), aos 15 DAA. As plantas foram colocadas em sacos de papel e acondicionadas em estufa de ventilação forçada de ar, a 55 °C, durante 72 h. Após a secagem, o material foi pesado em balança graduada e obtidos os valores de massa de matéria seca (g por bandeja).

Os resultados referentes aos percentuais de controle foram submetidos à transformação de dados (raiz quadrada de $x+1$), a fim de atender aos pressupostos da análise de variância (ANOVA).

As análises estatísticas foram realizadas utilizando-se o software SAEG (Sistema para análises estatísticas e genéticas). Os dados foram submetidos à ANOVA e as médias comparadas pelo teste de Duncan ($P < 0,05$).

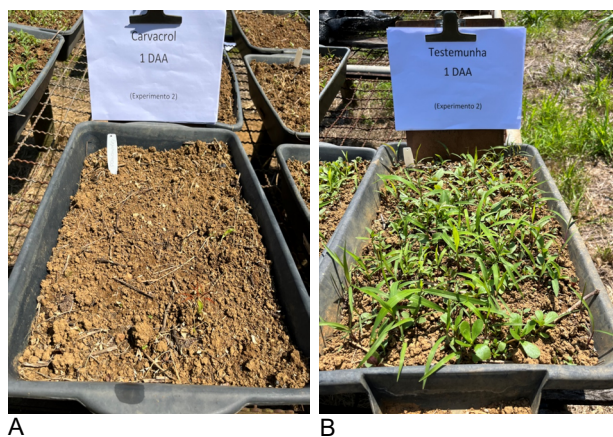
Resultados e discussão

Os sintomas visuais de injúria causados às espécies daninhas em decorrência da aplicação dos tratamentos ocorreram muito rapidamente, sendo possível observar os efeitos fitotóxicos sobre a parte aérea após 1 dia da aplicação (Figuras 1 e 2).



Fotos: Alexandre Brighenti

Figura 1. Controle de plantas daninhas com carvacrol no 1º dia após a aplicação do tratamento (A) e a testemunha (B). Experimento 1. Coronel Pacheco, MG - 2022.



Fotos: Alexandre Brighenti

Figura 2. Controle de plantas daninhas com carvacrol no 1º dia após a aplicação do tratamento (A) e a testemunha (B). Experimento 2. Coronel Pacheco, MG - 2023.

O dano visual característico foi o aparecimento de necrose nas folhas e a rápida dessecação das plantas. Estudos realizados por Muñoz et al. (2020) também confirmaram a rapidez de ação de compostos originários de plantas sobre espécies daninhas. Os autores verificaram que, após 30 minutos da aplicação, as plantas já apresentavam sinais de injúria, atingindo a letalidade máxima após 24 horas.

O carvacrol destacou-se entre os demais compostos, apresentando os maiores percentuais de controle, com 90% e 93%, aos 3 DAA, para os experimentos 1 e 2, respectivamente (Tabelas 2 e 3, Figuras 3 e 4). Esse mesmo tratamento proporcionou os menores valores para o número de plantas daninhas por bandeja (experimento 1) e também para massa de matéria verde e seca, em ambos os experimentos.

Tabela 2. Percentual de controle de plantas daninhas no 1º (C1) e 3º (C3) dias após a aplicação dos tratamentos (DAA), número de plantas daninhas por bandeja (plantas por 0,222 m²) (NPD), aos 15 DAA, massa de matéria verde (MV) e seca (MS) de plantas daninhas por bandeja (g por 0,222 m²), aos 15 DAA, em função dos tratamentos. Experimento 1. Coronel Pacheco, MG - 2022.

Tratamentos	C1	C3	NPD	MV	MS
Água + Álcool	0,0 d*	0,0 e	132,0 a	30,17 a	13,59 a
Carvacrol	82,6 a	90,3 a	56,6 b	20,07 b	10,46 b
Eugenol	21,0 c	24,0 c	107,0 a	26,23 ab	12,09 ab
Timol	50,0 b	57,0 b	65,3 b	29,88 a	13,07 a
Trans-anetol	0,0 d	2,3 d	123,6 a	29,78 a	13,02 a
Cinamaldeído	0,0 d	2,3 d	177,6 a	31,61 a	13,20 a
Testemunha	0,0 d	0,0 e	129,3 a	34,14 a	13,65 a
Coeficiente de Variação (%)	2,5	2,0	13,6	13,5	8,8

*Médias seguidas pelas mesmas letras na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Duncan ($P < 0,05$).

Tabela 3. Percentual de controle de plantas daninhas no 1º (C1), 3º (C3) e 15º (C15) dias após a aplicação dos tratamentos (DAA), massa de matéria verde (MV) e seca (MS) de plantas daninhas por bandeja (g por 0,222 m²), aos 15 DAA, em função dos tratamentos. Experimento 2. Coronel Pacheco, MG - 2023.

Tratamentos	C1	C3	C15	MV	MS
Água + Álcool	0,0 e*	0,0 e	0,0 e	168,0 a	18,2 a
Carvacrol	83,3 a	93,3 a	94,3 a	62,9 d	2,9 c
Eugenol	57,0 c	58,0 c	61,0 c	119,0 c	9,1 b
Timol	70,0 b	71,3 b	72,3 b	73,1 d	4,8 c
Trans-anetol	30,0 d	32,6 d	33,6 d	128,3 bc	10,0 b
Cinamaldeído	31,0 d	32,3 d	34,0 d	134,0 abc	9,7 b
Testemunha	0,0 e	0,0 e	0,0 e	162,1 ab	16,9 a
Coeficiente de Variação (%)	3,1	2,8	3,4	16,4	21,9

*Médias seguidas pelas mesmas letras na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Duncan ($P < 0,05$).

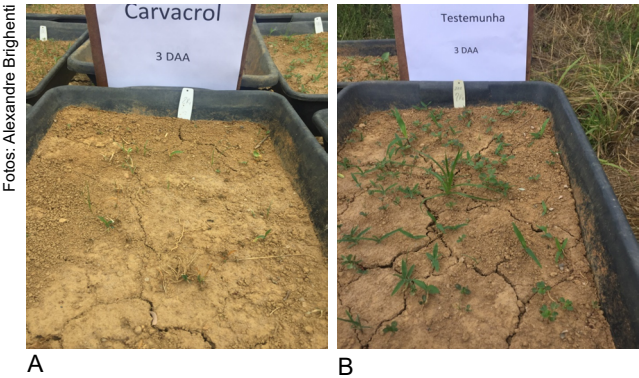


Figura 3. Controle de plantas daninhas com carvacrol no 3º dia após a aplicação do tratamento (A) e a testemunha (B). Experimento 1. Coronel Pacheco, MG - 2022.

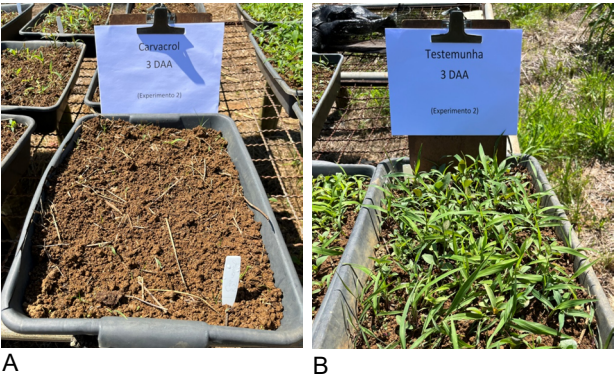


Figura 4. Controle de plantas daninhas com carvacrol no 3º dia após a aplicação do tratamento (A) e a testemunha (B). Experimento 2. Coronel Pacheco, MG - 2023.

Fotos: Alexandre Brighenti

Fotos: Alexandre Brighenti

Outros estudos também confirmaram a ação do carvacrol quando aplicado em pós-emergência de espécies daninhas, causando fitotoxicidade elevada e redução no crescimento das plantas (Dayan; Duke, 2014; Hazrati et al., 2017). O efeito tóxico do carvacrol não está relacionado somente ao controle de plantas, possuindo, também, ação inibitória sobre o crescimento bacteriano e ação antifúngica (Sousa et al., 2012; Roselló et al., 2015).

O mecanismo de ação do carvacrol em plantas está relacionado à ruptura das membranas das células, principalmente, quando aplicado em concentrações altas e exposição prolongada (Chaimovitsh et al., 2017). Esse composto pode, ainda, causar alterações no ciclo celular de células meristemáticas de algumas espécies, como, por exemplo, a alface (*Lactuca sativa*), desencadeando alterações cromossômicas, a partir da concentração de 0,015% (Pinheiro et al., 2015). Essa ação genotóxica também foi observada em sorgo, com prejuízos ao DNA das plantas (Alves et al., 2018).

O aspecto visual do controle proporcionado pelo carvacrol aos 15 DAA ainda diferenciava-se das testemunhas (Figuras 5 e 6), mostrando o seu potencial como bio-herbicida.

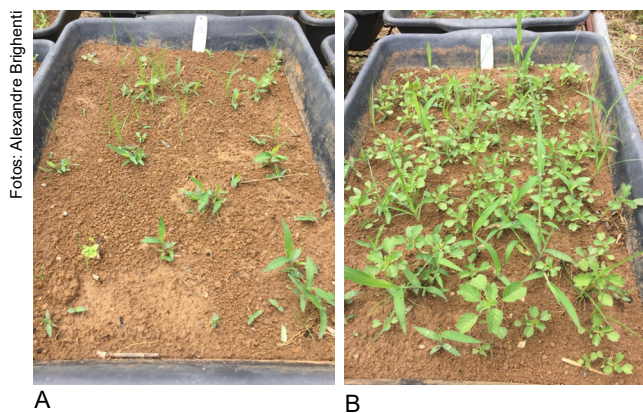


Figura 5. Controle de plantas daninhas com carvacrol no 15º dia após a aplicação do tratamento (A) e a testemunha (B). Experimento 1. Coronel Pacheco, MG - 2022.



Figura 6. Controle de plantas daninhas com carvacrol no 15º dia após a aplicação do tratamento (A) e a testemunha (B). Experimento 2. Coronel Pacheco, MG – 2023.

Embora apresentando controle das espécies daninhas inferior ao carvacrol, outros compostos naturais que também se destacaram foram o timol (Figuras 7 e 8), seguido do eugenol.

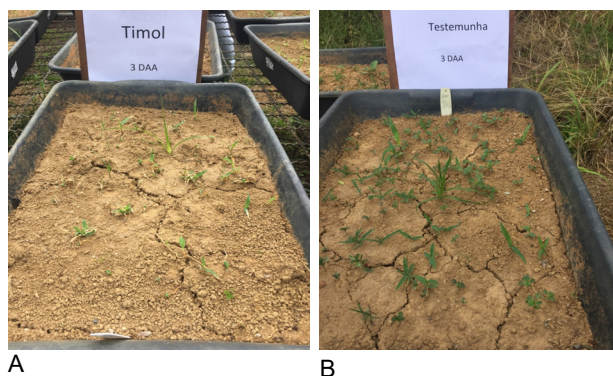


Figura 7. Controle de plantas daninhas com timol no 3º dia após a aplicação do tratamento (A) e a testemunha (B). Experimento 1. Coronel Pacheco, MG - 2022.

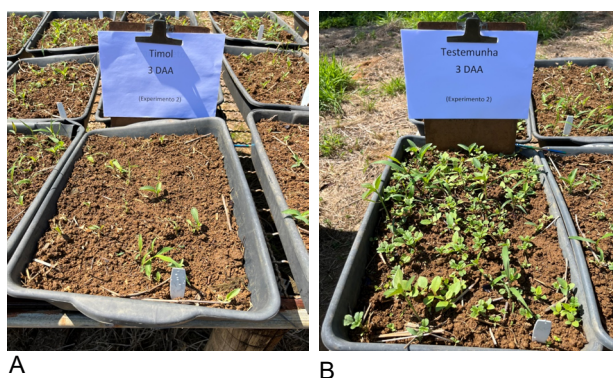


Figura 8. Controle de plantas daninhas com timol no 3º dia após a aplicação do tratamento (A) e a testemunha (B). Experimento 2. Coronel Pacheco, MG - 2023.

Os percentuais de controle, aos 3 DAA, para o timol variaram entre 57% (experimento 1) e 71% (experimento 2) e, para o eugenol entre 24% (experimento 1) e 58% (experimento 2) (Tabelas 2 e 3). Esses dois compostos foram mais eficazes no controle de plantas daninhas no experimento 2 do que no experimento 1. Provavelmente, esse fato pode estar relacionado às espécies mais suscetíveis no experimento 2 em relação ao experimento 1; ou pode ter ocorrido devido às condições ambientais no momento da aplicação, capazes de influenciar

na eficácia dos produtos (Penkowski et al., 2003).

Embora tenham sido observados efeitos fitotóxicos sobre as espécies daninhas para o trans-anetol e o cinamaldeído, o controle proporcionado por eles foi baixo (Tabelas 2 e 3).

Quando se avalia o controle proporcionado pelos tratamentos considerando-se individualmente as principais espécies daninhas, confirma-se o melhor desempenho do carvacrol (Tabelas 4 e 5).

Tabela 4. Percentual de controle de plantas de trapoeraba (*Commelina benghalensis*) (CTR), de capim-pé-de-galinha (*Eleusine indica*) (CPG), de caruru-de-porco (*Amaranthus* spp.) (CCA) e de tiririca (*Cyperus* spp.) (CTI) aos 15 dias após a aplicação dos tratamentos. Experimento 1. Coronel Pacheco, MG - 2022.

Tratamentos	CTR	CPG	CCA	CTI
Água + Álcool	0,0 e*	0,0 f	0,0 f	0,0
Carvacrol	97,3 a	84,6 a	95,3 a	0,0
Eugenol	20,3 b	31,3 c	51,0 c	0,0
Timol	21,6 b	52,0 b	81,6 b	0,0
Trans-anetol	11,3 c	10,6 d	9,3 d	0,0
Cinamaldeído	4,3 d	4,6 e	5,3 e	0,0
Testemunha	0,0 e	0,0 f	0,0 f	0,0
Coeficiente de Variação (%)	3,6	1,9	1,4	-

*Médias seguidas pelas mesmas letras na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Duncan ($P < 0,05$).

Tabela 5. Percentual de controle de plantas de trapoeraba (*Commelina benghalensis*) (CTR), de capim-colonião (*Megathyrus maximus*) (CCC), de caruru-de-porco (*Amaranthus* spp.) (CCA) e de apaga-fogo (*Alternanthera tenella*) (CAF) aos 15 dias após a aplicação dos tratamentos. Experimento 2. Coronel Pacheco, MG - 2023.

Tratamentos	CTR	CCC	CCA	CAF
Água + Álcool	0,0 f*	0,0 f	0,0 e	0,0 e
Carvacrol	98,0 a	97,6 a	98,6 a	92,0 a
Eugenol	22,0 c	66,3 c	82,0 b	81,3 c
Timol	72,0 b	87,3 b	99,3 a	85,6 b
Trans-anetol	9,0 d	10,3 d	20,0 c	69,3 d
Cinamaldeído	3,6 e	6,0 e	14,0 d	71,0 d
Testemunha	0,0 f	0,0 f	0,0 e	0,0 e
Coeficiente de Variação (%)	2,1	2,4	1,4	1,8

*Médias seguidas pelas mesmas letras na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Duncan ($P < 0,05$).

As espécies *C. benghalensis* e *Amaranthus* spp. foram eficientemente controladas pelo carvacrol, com aproximadamente 100% de morte das plantas,

em ambos os experimentos (Tabelas 4 e 5). A maior suscetibilidade de espécies do gênero *Amaranthus* ao carvacrol também foi observada por Muñoz et al. (2020). Os autores avaliaram o efeito de três

compostos de origem vegetal sobre *Amaranthus retroflexus*, *Avena fatua*, *Portulaca oleraceae* e *Erigeron bonariensis*. Das quatro espécies estudadas, *A. retroflexus* foi a mais suscetível ao carvacrol, sendo controlada totalmente após 1 dia da aplicação das concentrações 8%, 16% e 32%. Outros estudos também confirmaram a rápida atividade do carvacrol sobre *A. retroflexus* (Hazrati et al., 2017). Os autores verificaram que uma nanoemulsão de *Satureja hortensis* L., rica em carvacrol (55,6%), aplicada sobre plantas de *A. retroflexus*, causou fitotoxicidade após 30 minutos e letalidade máxima após 24 horas.

A espécie *E. indica* foi controlada pelo carvacrol com valores percentuais de 84% (experimento 1, Tabela 4), e também a espécie *M. maximus* e *A. tenella* com percentuais de controle de 97% e 92%, respectivamente (experimento 2, Tabela 5). Entretanto, *Cyperus* spp. não foi controlada por nenhum dos compostos naturais (Tabela 4).

Considerando-se o tratamento com timol, foram obtidos percentuais de controle de 81% e 99% para *Amaranthus* spp. nos experimentos 1 e 2, respectivamente (Tabelas 4 e 5). Esse mesmo tratamento foi eficaz sobre *M. maximus* e *A. tenella* com percentuais de controle de 87% e 85%, respectivamente (Tabela 5).

Com relação ao eugenol, esse composto não proporcionou percentuais satisfatórios de controle das espécies daninhas do experimento 1 (Tabela 4). Entretanto, para o experimento 2, esse composto proporcionou controle aceitável para *Amaranthus* spp. e *A. tenella* de 82% e 81%, respectivamente (Tabela 5). Bainard et al. (2006) também observaram potencial fitotóxico do eugenol sobre o *Amaranthus retroflexus*. Em espécies monocotiledôneas, como a aveia selvagem (*Avena fatua*), o eugenol causou inibição do crescimento de plantas, afetando mais as raízes (Ahuja et al., 2015).

Os tratamentos com trans-anetol e cinamaldeído não proporcionaram controle eficaz das espécies daninhas em nenhum dos experimentos. Entretanto, foram comprovadas propriedades anti-oxidantes fortes para o cinamaldeído, sendo responsável por várias atividades biológicas como fungicida, bactericida e acaricida (Viazis et al., 2011; Kim et al., 2013). Sua atividade como antibiótico é bem conhecida, embora seu potencial como bio-herbicida tenha sido menos estudado (Muñoz et al., 2020). Apesar disso, pesquisas mais recentes demonstraram a atividade herbicida do cinamaldeído sobre a planta daninha capim-arroz (*Echinochloa crus-galli*), reduzindo a massa de matéria verde e o crescimento das plantas (Saad et al., 2019). Porém,

o modo de ação desse composto sobre as plantas daninhas ainda não foi descoberto, necessitando esforços e pesquisas para sua elucidação (Muñoz et al., 2020).

Conclusões

Os experimentos realizados para avaliar o potencial de controle de plantas daninhas utilizando compostos de origem vegetal permitem concluir que:

1. Compostos de origem vegetal são alternativas potenciais no controle de plantas daninhas;
2. Os compostos naturais proporcionaram controle das espécies infestantes seguindo a ordem decrescente de eficácia: carvacrol > timol > eugenol > trans-anetol = cinamaldeído;
3. As espécies daninhas *C. benghalensis*, *E. indica*, *Amaranthus* spp., *M. maximus* e *A. tenella* foram eficientemente controladas pelo carvacrol;
4. As espécies daninhas *Amaranthus* spp., *M. maximus* e *A. tenella* foram eficientemente controladas pelo timol;
5. O eugenol proporcionou controle aceitável de *Amaranthus* spp. e *A. tenella*;
6. *Cyperus* spp. não foi controlada por nenhum dos compostos naturais;
7. O trans-anetol e o cinamaldeído não controlaram satisfatoriamente nenhuma das espécies daninhas avaliadas.

Agradecimentos

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais – Fapemig (processo APQ-03630-23) pelo apoio financeiro.

Referências

- ABBAS, T.; ZAHIR, Z. A.; NAVEED, M.; KREMER, R. J. Limitations of existing weed control practices necessitate development of alternative techniques based on biological approaches. In: SPARKS, D. L. (ed.). **Advances in agronomy**. Cambridge: Academic Press, 2018. v. 147, p. 239-280. DOI:https://doi.org/10.1016/bs.agron.2017.10.005.
- AHUJA, N.; SINGH, H. P.; BATISH, D. R.; KOHLI, R. K. Eugenol-inhibited root growth in *Avena fatua* involves ROS-mediated oxidative damage. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 188, p. 64-70, 2015. DOI: https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2014.11.012.

- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M. Modeling monthly mean air temperature for Brazil. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 113, n. 3/4, p. 407-427, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00704-012-0796-6>.
- ALVES, T. A.; PINHEIRO, P. F.; PRAÇA-FONTES, M. M.; ANDRADE-VIEIRA, L. F.; CORRÊA, K. B.; ALVES, T. A.; CRUZ, F. A.; LACERDA JÚNIOR, V.; FERREIRA, A. Toxicity of thymol, carvacrol, and their respective phenoxyacetic acids in *Lactuca sativa* and *Sorghum bicolor*. **Industrial Crops & Products**, v. 114, n. 1, p. 59-67, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.01.071>.
- AMRI, I.; LAMIA, H.; MOHSEN, H.; BASSEM, J. Review on the phytotoxic effects of essential oils and their individual components: news approach for weed management. **International Journal of Applied Biology and Pharmaceutical Technology**, v. 4, n. 1, p. 96-114, 2013.
- BAINARD, L. D.; ISMAN, M. B.; UPADHYAYA, M. K. Phytotoxicity of clove oil and its primary constituent eugenol and the role of leaf epicuticular wax in the susceptibility to this essential oils. **Weed Science**, v. 54, p. 833-837, 2006. DOI: <http://doi.org/10.1614/WS-06-039R.1>.
- BAKKALI, F.; AVERBECK, S.; AVERBECK, D.; IDAOMAR, M. Biological effects of essential oils: a review. **Food and Chemical Toxicology**, v. 46, n. 2, p. 446-475, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fct.2007.09.106>.
- CHAIMOVITSH, D.; SHACHTER, A.; ABU-ABIED, M.; RUBIN, B.; SADOT, E.; DUDAI, N. Herbicidal activity of monoterpenes is associated with disruption of microtubule functionality and membrane integrity. **Weed Science**, v. 65, n.1, p. 19-30, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1614/WS-D-16-00044.1>.
- CHERICONI, S.; PRIETO, J. M.; IACOPINI, P.; CIONI, P.; MORELLI, I. In vitro activity of the essential oil of *Cinnamomum zeylanicum* and eugenol in peroxynitrite-induced oxidative processes. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 53, n. 12, p. 4762-4765, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1021/jf050183e>.
- COSTA, N. V.; RODRIGUES-COSTA, A. C. P.; COELHO, E. M. P.; FERREIRA, S. D.; BARBOSA, J. A. Métodos de controle de plantas daninhas em sistemas orgânicos: breve revisão. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 17, n. 1, p. 25-44, 2018. DOI: <http://doi.org/10.7824/rbh.v17i1.522>.
- DAYAN, F. E.; DUKE, S. O. Natural compounds as next-generation herbicides. **Plant Physiology**, v. 166, n. 3, p. 1090-1105, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1104/pp.114.239061>.
- DE MASTRO, G.; FRACCHIOLLA, M.; VERDINI, L.; MONTEMURRO, P. Oregano and its potential use as bioherbicide. **Acta Horticulturae**, v. 723, p. 335-346, 2006. DOI: <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2006.723.46>.
- DIAS, M. L.; AUAD, A. M.; MAGNO, M. C.; RESENDE, T. T.; FONSECA, M. G.; SILVA, S. E. B. Insecticidal activity of compounds of plant origin on *Mahanarva spectabilis* (Hemiptera: Cercopidae). **Insects**, v. 10, n. 10, 360, 2019. DOI: <https://doi.org/10.3390%2Finsects10100360>.
- GARCIA, A. Cenário da soja orgânica no Brasil. In: CORRÊA-FERREIRA, B. S. (org.). **Soja orgânica: alternativas para o manejo de insetos-pragas**. Londrina: Embrapa, 2003. p. 11-14.
- GRUENWALD, J.; FREDER, J.; ARMBRUESTER, N. Cinnamon and health. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 50, n. 9, p. 822-834, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1080/10408390902773052>.
- HAZRATI, H.; SAHARKHIZ, M. J.; NIAKOUSARI, M.; MOEIN, M. Natural herbicide activity of *Satureja hortensis* L. essential oil nanoemulsion on the seed germination and morphophysiological features of two important weed species. **Ecotoxicological Environmental Saf**, v. 142, p. 423-430, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.04.041>.
- HEAP, I. M. Global perspective of herbicide-resistant weeds. **Pest Management Science**, v. 70, n. 9, p. 1306-1315, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1002/ps.3696>.
- HESS, S. C.; NODARI, R. Agrotóxicos no Brasil: panorama dos produtos entre 2019 e 2022. **Revista Ambiente em Movimento**, v. 2, n. 2, p. 39-52, 2022.
- KIM, M. G.; YANG, J. Y.; LEE, H. S. Acaricidal potentials of active properties isolated from *Cynanchum paniculatum* and acaricidal changes by introducing functional radicals. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 61, n. 31, p. 7568-7573, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1021/jf402330p>.
- KNEZEVIC, S. Z.; JHALA, A.; DATTA, A. Integrated weed management. In: THOMAS, B.; MURRAY, B. G. **Encyclopedia of applied plant sciences**. 2th ed. Oxford: Academic Press, 2017. p. 459-462. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-394807-6.00231-8>.
- KOPPEN, W. **Climatologia com un estudio de los climas de la tierra**. México City: Fondo de Cultura Economica, 1948. 478 p.
- MÈTOMÈ, G.; ADJOU, E. S.; GBAGUIDI, B. A.; DAHOUENON-AHOUSSE, E.; SOHOUNHLOUE, D. Insecticidal and repellent effects of essential oils of *Cinnamomum zeylanicum* and *Syzygium aromaticum* from Benin against the weevil of Pigeon pea (*Cajanus cajan* L. Millspaugh). **Journal of Pharmacognose and Phytochemistry**, v. 6, n. 4, p. 2074-2077, 2017.
- MUÑOZ, M.; TORRES-PAGÁN, N.; PIERÓ, R.; GUIJARRO, R.; SÁNCHEZ-MOREIRAS, A. M.; VERDEGUER, M. Phytotoxic effects of three natural compounds: pelargonic acid, carvacrol, and cinnamic aldehyde, against problematic weeds in mediterranean

crops. **Agronomy**, v. 10, n. 6, 791, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy10060791>.

NASCIMENTO, V. F.; AUAD, A. M.; RESENDE, T. T.; VISCONDE, A. J. M.; DIAS, M. L. Insecticidal activity of aqueous extracts of plant origin on *Mahanarva spectabilis* (Distant, 1909) (Hemiptera: Cercopidae). **Agronomy**, v.12, n. 4, 947, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy12040947>

OERKE, E. C. Crop losses to pests. **Journal of Agricultural Sciences**, v. 144, n. 1, p. 31-43, 2006. DOI: <http://dx.doi.org/10.1017/S0021859605005708>.

OOTANI, M. A.; AGUIAR, R. W.; RAMOS, A. C. C.; BRITO, D. R.; SILVA, J. B.; CAJAZEIRA, J. P. Use of essential oils in agriculture. **Journal of Biotechnology and Biodiversity**, v. 4, n. 2, p. 162-174, 2013.

PARK, J. H.; JEON, Y. J.; LEE, C. H.; CHUNG, N.; LEE, H. S. Insecticidal toxicities of carvacrol and thymol derived from *Thymus vulgaris* Lin. against *Pochazia shantungensis* Chou & Lu., newly recorded pest. **Scientific Reports**, v. 7, article 40902, 2017. DOI: <http://doi.org/10.1038/srep40902>.

PENKOWSKI, L. H.; PODOLAN, M. J.; LÓPEZ-OVEJERO, R. F. Influência das condições climáticas no momento da aplicação de herbicidas pós-emergentes sobre a eficácia de controle de nabiça (*Raphanus raphanistrum*) na cultura do trigo. **Planta Daninha**, v. 21, n. 3, p. 435-442, 2003.

PINHEIRO, P. F.; COSTA, A. V.; ALVES, T. A.; GALTER, I. N.; PINHEIRO, C. A.; PEREIRA, A. F.; OLIVEIRA, C. M. R.; FONTES, M. M. P. Phytotoxicity and cytotoxicity of essential oil from leaves of *Plectranthus amboinicus*, carvacrol, and thymol in plant bioassays. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 63, n. 41, p. 8981-8990, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.5b03049>.

ROSELLÓ, J.; SEMPERE, F.; SANZ-BERZOSA, I.; CHIRALT, A.; SANTAMARINA, M. P. Antifungal activity and potential use of essential oils against *Fusarium culmorum* and *Fusarium verticillioides*. **Journal of Essential Oil Bearing Plants**, v. 18, n. 2, p. 359-367, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1080/0972060X.2015.1010601>.

SAAD, M. M. G.; GOUDA, N. A. A.; ABDELGALEIL, S. A. M. Bio-herbicidal activity of terpenes and phenylpropenes against *Echinochloa crus-galli*. **Journal of Environmental Science and Health B**, v. 54, n.12, p. 954-963, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1080/03601234.2019.1653121>.

SEIBER, J. N.; COATS, J.; DUKE, S. O.; GROSS, A. D. Biopesticides: state of the art and future opportunities. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 62, n. 48, p. 11613-11619, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1021/jf504252n>.

SENTHIL-NATHAN, S. A. Review of biopesticides and their mode of action against insect pests. In: THANGAVEL, P.; SRIDEVI, G. (ed.). **Environmental sustainability: role of green**. Nova Deli: Springer, 2015. p. 49-63.

SOUSA, J. P.; AZERÊDO, G. A. de; TORRES, R. de A.; VASCONCELOS, M. A. da S.; CONCEIÇÃO, M. L. da; SOUZA, E. L. de. Synergies of carvacrol and 1,8-cineole to inhibit bacteria associated with minimally processed vegetables. **International Journal of Food Microbiology**, v. 154, n. 3, p. 145-151, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2011.12.026>.

SPADOTTO, C. A.; GOMES, M. A. F. **Agrotóxicos no Brasil**. Brasília, DF: Embrapa, 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/agricultura-e-meio-ambiente/qualidade/dinamica/agrotoxicos-no-brasil>. Acesso em: 13 jun. 2024.

VELINI, E.D.; OSIPE, R.; GAZZIERO, D. L. P. (coord.). **Procedimentos para instalação e análises de experimentos com herbicidas**. Londrina: Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas Daninhas, 1995. 42 p.

VIAZIS, S.; AKHTAR, M.; FEIRTAG, J.; DIEZ-GONZALEZ, F. Reduction of *Escherichia coli* O157: H7 viability on leafy green vegetables by treatment with a bacteriophage mixture and trans-cinnamaldehyde. **Food Microbiology**, v. 28, n.1, p. 149-157, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fm.2010.09.009>.

VORIS, D. G. da R.; DIAS, L. dos S.; LIMA, J. A.; LIMA, K. dos S. C.; LIMA, J. B. P.; LIMA, A. L. dos S. Evaluation of larvicidal, adulticidal, and anticholinesterase activities of essential oils of *Illicium verum* Hook. f., *Pimenta dioica* (L.) Merr., and *Myristica fragrans* Houtt. against Zika virus vectors. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 25, n. 23, p. 22541-22551, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-018-2362-y>.

VOSS, R.; BELLÙ, L. G. Global trends and challenges to food and agriculture into the 21 st century. In: CAMPANHOLA, C.; PANDEY, S. (ed.). **Sustainable food and agriculture: an integrated approach**. London: Academic Press, 2019. p. 11-30.